

高分辨率直肠磁共振成像对肿瘤退缩分级 mrTRG 的精准评估

鲁 鹏 卢升再^(通讯作者) 徐根深 龚永泉 刘振兴

保山市人民医院 云南 保山 678000

摘要: 目的在于探究高分辨磁共振成像技术在直肠肿瘤新辅助治疗后肿瘤退缩分级 (mrTRG) 评估中的应用情况, 通过改良扫描序列和参数, 得到优质的直肠图像, 细致观察肿瘤治疗之后的形态学和信号强度变化, 研究显示, 高分辨成像可以更为清楚地显示出肠壁结构, 肿瘤残留以及纤维化程度, 从而改进 mrTRG 分级的精确度, 这种精确的评估给后续个体化治疗方案的选择赋予了可靠的影像学依据, 对改善患者的预后有着重要的意义。

关键词: 高分辨率磁共振成像; 直肠肿瘤; 肿瘤退缩分级; 精准评估

DOI:10.12417/2982-3838.25.01.011

直肠肿瘤新辅助治疗后疗效的准确评价, 是制定后续治疗策略的关键环节。磁共振成像 (MRI) 以其卓越的软组织分辨率, 已成为评估肿瘤退缩反应的主要影像学手段。然而, 常规 MRI 在鉴别治疗后纤维组织增生与微小肿瘤残留方面仍面临挑战, 这在一定程度上限制了磁共振肿瘤退缩分级 (mrTRG) 的准确性。近年来, 高分辨率 MRI 技术日臻成熟, 其采用小视野 (FOV)、薄层厚等扫描策略, 显著提升了图像质量, 为精细观察肿瘤退缩后的微观结构变化提供了可能, 为实现 mrTRG 的精准评估开辟了新思路。

1 高分辨率磁共振成像技术参数优化

欲实现对直肠肿瘤退缩反应的精细观察, MRI 技术参数的优化是基本前提, 核心在于获取兼具高信噪比 (SNR) 与高空间分辨率的图像。通常采用 3.0T 高场强 MRI 设备, 并选用体部相控阵线圈或直肠专用表面线圈以增强局部信号。核心序列为高分辨率 T2 加权成像 (T2WI), 采用二维快速自旋回波 (FSE/TSE) 序列, 扫描层面应完全覆盖肿瘤区域。为满足高分辨率要求, 扫描视野 (FOV) 设定于 16cm 至 20cm 之间, 层厚不大于 3mm, 且采用零间距扫描。通过上述参数的精细调校, 能够清晰分辨直肠壁的五层解剖结构, 为准确判断肿瘤浸润深度、残留病灶范围及其与邻近组织的关系提供了高质量的图像基础, 构成了后续精准分级的技术保障^[1]。

2 mrTRG 分级标准与影像学表现

2.1 完全缓解与显著退缩的影像学特征

mrTRG1 级是肿瘤完全退缩, 影像学上表现为正常的直肠壁结构恢复, 或者仅显示低信号的纤维条索影, 在 T2 加权成像上呈现均匀的暗色, 在弥散加权成像上没有明显的高信号。而 mrTRG2 级则是显著退缩, 影像学上可以见到大量的纤维组织替代了原有的肿瘤, 表现为大片的低信号区域, 里面可

能会有少量或者中等信号的残余肿瘤组织, 高分辨率成像可以很好地勾画出这种以纤维化为主的改变, 准确地量度出残余信号异常区域的大小, 从而对 1 级和 2 级做出更为客观的判断, 避免因微小残余病灶的遗漏而导致的评估误差。

2.2 中度退缩的影像特征

mrTRG 3 级界定为中度退缩反应, 其影像学特征表现为纤维化与残留肿瘤组织相互混杂, 且二者在病灶中所占比例相当, 无明显优势成分。高分辨率 T2WI 上, 病灶内部呈现低信号的纤维组织与中等或稍高信号的肿瘤成分交织镶嵌, 形成信号不均一的“斑驳”征象。此种显著的信号异质性是 mrTRG 3 级的标志性特征。高分辨率成像的薄层扫描能有效降低部分容积效应, 从而更精细地解析不同信号成分的边界及其相对占比, 这有助于减少评估的主观偏倚。应用多平面重建 (MPR) 技术, 可从多维度立体评估肿瘤的整体退缩模式, 以区分其为向心性缩小, 抑或是多灶性、不规则的散在性退缩。这种精细的形态学评估, 对于准确判定 mrTRG 3 级并与以纤维化为主的 2 级或以肿瘤残留为主的 4 级进行鉴别诊断至关重要^[2]。

2.3 轻微或无退缩的影像特征

mrTRG4 级和 5 级分别代表轻微退缩、无退缩, 是疗效欠佳的直接体现。4 级影像上肿瘤组织仍占病变主体, 仅有少量呈条索、斑点状低信号纤维组织散在其中, 在高分辨 T2 加权成像上, 原肿瘤区域仍以中等或者稍高信号为主, 其形态和范围较治疗前可能有轻微缩小, 但结构上的变化并不大。mrTRG5 级则代表肿瘤无退缩, 甚至有体积增大、外侵范围扩大的进展迹象, 其影像与治疗前基线图像无实质变化。高分辨率成像准确量测肿瘤实体成分的体积, 可以客观地衡量它在治疗前后细微的变化, 给 4 级和 5 级的判定给予可靠的数值支撑, 这样的定量评价方式, 能有效地防止由于细微变化

而被忽略造成的主观判断失误，对马上调整后续治疗方案有着关键的引导意义。

3 高分辨率成像在评估残余肿瘤中的应用

3.1 纤维化与残余肿瘤的鉴别

新辅助治疗后，肿瘤组织的坏死消融常伴随纤维组织增生修复，二者在常规 MRI 图像上信号特征相似，是评估的难点与重点。高分辨率 T2WI 能够更清晰地揭示组织内部的微细结构：成熟的纤维组织多表现为边界相对清晰的条索状或片状低信号；而残留的肿瘤组织则常呈结节状或不规则肿块状的中等信号强度，边缘常显模糊。结合弥散加权成像（DWI），细胞密度较高的残存肿瘤组织表现为显著的弥散受限（高信号），而纤维化区域则无明显信号增高。因此，整合高分辨率图像提供的精细形态学信息与多序列图像的功能性信号特征进行综合判读，可显著提升鉴别诊断的准确率。

3.2 黏液湖样变与肿瘤残留的鉴别

有些直肠腺癌，特别是黏液腺癌，经过治疗以后会出现明显的黏液湖样改变，也就是很多没有细胞的黏液成分代替了原先的肿瘤细胞实体，在高分辨 T2 加权成像当中，这样的黏液湖由于含有大量水分所以表现出极高的信号强度，它的外形可以是边界平滑的囊状或者分隔清楚的多房状构造，这种影像表现很容易让人误以为肿瘤已经完全液化坏死，这是一种不错的治疗反应，不过这种看法也许会忽略掉一些风险，因为黏液湖并不是表示肿瘤已经被彻底清除，它里面或者周围或许藏着有活力的肿瘤细胞，要准确找出这些地方才是评判疗效的关键所在^[3]。

高分辨率成像的薄层扫描特性，对于显示黏液湖中的隐藏病灶十分关键，残存的肿瘤实体部分往往表现为中等信号，其形状并不规则，常常依附在黏液湖的边缘处，或者悬浮于黏液之中，这些细小的肿瘤结节在高分辨率图像上能够被清楚地捕捉到，这有效避免了容积效应造成的信号混淆情况发生，从而防止将这些小结节误认为是黏液湖本身，所以，要准确识别黏液湖里的肿瘤残留，这是对治疗反应做出真实评价的关键步骤，它关乎着接下来的治疗方案选择，以免由于假阴性评价而造成治疗不足。

3.3 肿瘤细胞散在分布的识别

新辅助治疗之后，肿瘤细胞出现萎缩，这种萎缩可能是不均匀的，有些瘤细胞也许会散开、跳跃地留在肠壁的不同层面。常规扫描用到的层数比较厚重，容积效应往往容易被这种层层叠叠的扫描所掩盖，那些分散存在的小病灶就有可能藏在里面难以显露出来，高分辨率成像由于采取的是很薄

的扫描层厚技术优势，在此情况下容积效应影响会被削减许多，可以提高小病灶被看见的机会，通过逐层仔细去观察肠壁不同层面间信号是否延续以及均匀程度，能够尽早地识别那些散布存在的、信号异常又比较细小的那种肿瘤结节。从而更为完整地理解肿瘤真实退缩状况。

3.4 环周切缘状态的精确判断

环周切缘（CRM）是否受累，是影响局部复发率和患者生存预后的关键因素。新辅助治疗后，肿瘤退缩可能导致其与 CRM 的距离发生改变。高分辨率 MRI 能清晰显示作为潜在 CRM 的直肠系膜筋膜，通过精确测量残留肿瘤组织边缘与直肠系膜筋膜之间的最短距离，可准确判断 CRM 状态。这种测量精度依赖于高质量的图像，可分辨小于 1 毫米的间距。这一关键信息有助于外科医生进行术前规划，确定恰当的手术范围，以实现阴性切缘（R0 切除）^[4]。

4 影响 mrTRG 评估准确性的关键因素

4.1 图像伪影的控制与识别

图像质量是精准评价的基础，各种伪影是影响图像质量的绊脚石，肠道蠕动造成的运动伪影会使组织边界变得模糊不清，无法辨认，呼吸运动同样会造成图像质量降低，直肠内的气体或者金属植入物也许会诱发磁敏感伪影，造成局部信号失真，要控制这些伪影，就要采用一些办法，比如在扫描之前做好肠道准备，服用抗蠕动药物，实施呼吸训练，阅片者也要具备识别各类伪影的能力，懂得伪影对图像解读所存在的潜在影响，防止把伪影错当成病变，这样才能保证评价的可信度。

4.2 扫描时机的选择与标准化

新辅助治疗结束之后，肿瘤区域的组织学环境会经历一段复杂又动态的转变过程，这直接影响到最佳的影像学评价时机，如果扫描时机选得过早，比如在治疗结束后的 4 周内，这时候组织还处在急性炎性反应期，毛细血管通透性变大造成的水肿还没有完全消退，这种炎性水肿在 T2 加权成像里同样显示为高信号，很容易和有活性的残余肿瘤信号混在一起，造成对肿瘤残留范围的高估，做出不正确的 mrTRG 分级，这种错误的判断会影响到后续治疗决策的制定，有可能引发不必要的过度治疗^[5]。

反之，如果扫描时机选择过晚，比如超过 10 周，组织修复过程中的纤维化会趋于成熟致密，在 T2 加权成像上表现为明确的低信号，这有利于与肿瘤区分，但是致密的纤维组织有可能包裹并掩盖住散在的、微小的残余肿瘤细胞团，导致漏诊，从而低估肿瘤负荷，因此确定一个标准的扫描时间窗非常关键，目前一般推荐在新辅助治疗结束后的 6-8 周做磁

共振复查,建立标准的扫描流程,不只是固定扫描时机,统一扫描方案,更是保证不同医疗机构之间、不同患者之间、同一个患者不同时间点检查结果具备高度可比性的重要前提,是实现 MRTRG 评估标准化,并且使其成为可靠的预后指标的必备条件。

4.3 阅片者经验与诊断一致性

mrTRG 的评估存在主观性,阅片者所具备的专业知识和诊断经验直接影响评估结果,经验丰富且专业的影像科医生能对治疗后图像复杂变化有着深刻认识,能够更加准确地区分纤维化,炎性反应和肿瘤残留,要减小主观因素造成的差异,就要对阅片者开展系统化培训,让他们熟悉 mrTRG 的评估准则以及各种影像学表现,采取双人读片或者集体阅片制度,针对疑难病例展开讨论,这样做有益于改善诊断的一致性,推动阅片流程标准化,创建统一的报告模板,这也是削减评估差异,改良总体诊断水准的有效途径。

4.4 成像序列的综合解读

精准的 mrTRG 评估不能单靠某个成像序列来完成,要依靠对多种序列信息的综合分析,高分辨率 T2 加权成像是解剖结构评估的基石,给肿瘤形态,大小及其与周围结构关系赋予了关键信息,弥散加权成像从功能角度表现了组织内部水分子的扩散受限状况,利于找出细胞密度较高的残余肿瘤,动态对比增强磁共振成像可以显示出病灶的血供信息,缺乏血供的纤维化组织和血供丰富的残余肿瘤在增强模式上有差别,把这些不同序列给予的信息融合起来,做多参数,多维度的综合判读,可互相弥补,明显提升 mrTRG 评估的精确性和可靠性。

5 结语

高分辨率直肠 MRI 通过技术参数的优化,显著提升了图像的空间分辨率与组织对比度,从而使得对新辅助治疗后直肠肿瘤退缩的微观结构改变进行精细观察成为可能。该技术在鉴别纤维化与肿瘤残留、评估环周切缘等方面具有显著优势,进而提高了 mrTRG 分级的准确性。尽管其评估准确性仍受图像质量、扫描时机、阅片者经验等多种因素影响,但通过流程标准化及多序列综合解读,高分辨率 MRI 可为临床制定个体化治疗决策提供更为可靠的影像学依据,是推动直肠肿瘤精准诊疗发展的关键技术之一。

参考文献:

- [1] 李晓南,任雯廷,刘国强,等.高分辨率磁共振电特性成像及脑肿瘤诊断初步研究[J].电工技术学报,2021,36(18):3860-3866.
- [2] 夏国林,康立峰,赵月.高分辨率 MRI 联合 DCE-MRI 对直肠癌的诊断价值[J].实用癌症杂志,2025,40(06):979-982+1006.
- [3] 赵旖旎,卢业才,周亚芬,等.高分辨率磁共振动态增强成像联合扩散加权成像对直肠腺癌术前评估应用价值研究[J].临床军医杂志,2024,52(08):810-812.
- [4] 蒋志国,宋玲玲,胡春玲.CT 三维血管重建联合高分辨率磁共振成像评估结直肠癌新辅助化疗后分期的准确性[J].罕见疾病杂志,2024,31(07):104-106.
- [5] 李学栋,张文馨,程简,等.高分辨率磁共振成像在直肠癌诊断与术前分期中的应用价值评估[J].影像研究与医学应用,2024,8(04):185-187.